

不同结荚习性大豆节位间产量和品质的相关性研究

冯引弟¹, 张科², 徐克章³, 吴江¹, 杨春影¹, 李玉雪⁴

(1. 长春市农业科学院 玉米所, 吉林 长春 130111; 2. 吉林省水利水电勘测设计研究院 科学试验研究院, 吉林 长春 130012; 3. 吉林农业大学 农学院, 吉林 长春 130118; 4. 长春市食品药品检测中心 食品检测所, 吉林 长春 130000)

摘要:为了研究不同结荚习性大豆节位间产量和品质的变化规律,以无限结荚习性品种元宝金和金元 1 号,亚有限结荚习性品种吉农 7 号和吉林 45 为材料,研究了不同节位的产量、蛋白质含量和脂肪含量。结果表明:各大豆品种不同节位间的产量、蛋白质含量、脂肪含量均存在差异。元宝金和金元 1 号的产量中部最高,蛋白质含量上部最高,脂肪含量下部最高;吉农 7 号和吉林 45 的产量、蛋白质含量均为上部最高,脂肪含量中部最高。金元 1 号上部籽粒产量与蛋白质含量呈显著正相关,产量与脂肪含量呈极显著正相关;吉农 7 号下部籽粒产量与蛋白质及脂肪含量均呈极显著正相关;吉林 45 下部籽粒产量与蛋白质及脂肪含量均呈显著正相关。本研究结果为大豆不同节位籽粒合理化利用以及产量与品质关系的改良提供理论依据。

关键词:大豆;节位;产量;品质
中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2016.06.0932

Correlations of Yield and Quality at Each Node in Soybean with Different Growth Habits

FENG Yin-di¹, ZHANG Ke², XU Ke-zhang³, WU Jiang¹, YANG Chun-ying¹, LI Yu-xue⁴

(1. Research Institute of Corn, Changchun Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130111, China; 2. Research Institute of Scientific Experiment, Jilin Province Water Resource and Hydropower Consultative Company of P. R. CHINA, Changchun 130012, China; 3. College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 4. Institute of Food Detection, Changchun Food & Drug Testing Center, Changchun 130000, China)

Abstract: In this study, we analyzed the variations between seed yield and quality at each node in soybean with different growth habits. Using indeterminate soybean Yuanbaojin and Jinyuan 1, semi-determinate soybean Jinong 7 and Jilin 45 as experimental materials, the yield, protein content and fat content at each node were tested. The results indicated that the yield, protein content and fat content at each node of all tested cultivars were different. Yuanbaojin and Jinyuan 1 had higher yield at middle layers, higher protein content at upper layers, and higher fat content at lower layers. Jinong 7 and Jilin 45 had higher yield and protein content at upper layers, and higher fat content at middle layers. The yield and protein content were significant positive correlated at upper layers, and the yield and fat content were highly significant positive correlated at upper layers in Jinyuan 1. The yield and protein content and fat content had highly significant positive correlation at lower layers in Jinong 7. The yield and protein content and fat content had significant positive correlation at lower layers in Jilin 45. The result could provide theoretical basis for the reasonable use of seed at each node and the improvement of the relationship between yield and quality in soybean.

Keywords: Soybean; Node; Yield; Quality

大豆是全冠层结荚性作物^[1],结荚习性是指大豆开花和结荚的方式,是大豆的一种重要的形态、生态和育种习性,是大豆品种的主要特征特性之一。研究发现,不同结荚习性的大豆在株型、开花次序、荚粒分布、分布区域都存在着一定的差异^[2]。以往,对于大豆结荚习性的诸多研究,大都是从植株顶端特征、开花顺序、花期长短及其在各大生态区域内的分布等方面进行描述^[3]。胡国玉等^[2]研究发现,无限结荚习性品种株高较高且株高与产量呈极显著正相关,亚有限结荚习性品种生殖期与产量呈正相关。关晓雪等^[4]研究发现,在盆栽和田间条件下不同结荚习性大豆品系的器官平衡与产量

的规律。

关于节位的研究多集中于成熟期大豆冠层粒重(产量)的分析。庄波等^[5]研究发现,新品种的产量主要集中在冠层的中上部,而老品种的产量则以冠层中部最大,冯引弟等^[6]认为新品种产量的提高是由于中上部节位的净光合速率、光合能力、叶面积和叶绿素含量得以改善的结果;Adam 等^[7]发现植株上部籽粒比下部籽粒重,上部发芽率高于下部发芽率;Hampton 等^[8]认为植株下部的百粒重更低、发芽率更低、电导率更大。

不同结荚习性大豆节位间产量与品质的相关性研究较少^[9-11],本研究以无限结荚习性和亚有限

结荚习性大豆为材料,采用从下部到上部的顺序,在成熟期测定大豆全株每一节位的产量、蛋白质及脂肪含量,探讨了不同结荚习性大豆品种单株不同节位间籽粒产量和品质的变化及其关系,试图揭示大豆节位间的产量及品质特性,为大豆品质改良和不同节位籽粒合理化利用提供理论依据。

表 1 供试大豆品种的基本特性
Table 1 The characteristic of soybean cultivars

品种 Cultivar	育成时间 Release year	生育期 Growth period/d	结荚习性 Podding habit	平均产量 Mean yield/(kg·hm ⁻²)
元宝金 Yuanbaojin	1929	131	无限 Indeterminate	1072.434
金元 1 号 Jinyuan 1	1941	133	无限 Indeterminate	1092.946
吉农 7 号 Jinong 7	1999	129	亚有限 Semi-determinate	2154.774
吉林 45 Jilin 45	2000	128	亚有限 Semi-determinate	2201.123

1.2 试验设计

田间试验在吉林农业大学试验站进行,试验田位于吉林省长春市,地处 E125. 1°、N43. 53°。试验地土壤为黑壤土,速效氮为 133 mg·kg⁻¹,速效磷为 17.5 mg·kg⁻¹,速效钾为 97 mg·kg⁻¹,有机质含量为 2.69 g·kg⁻¹,pH 6.8。≥10℃有效积温为 2 860℃,2010 和 2011 年平均降雨量分别为 724 和 567 mm,无霜期 140 d 左右。每个大豆品种种植 5 行,行距 0.65 m,行长 5 m,密度 20 万株·hm⁻²,试验材料取每小区中间 3 行,随机区组设计,3 次重复。于 2010 和 2011 年 5 月 1 日条播,田间管理与一般大田生产相同,于成熟期收获^[6]。

1.3 测定项目及方法

植株豆荚成熟后,每个品种在每小区随机选取 20 株考种,统计每一节位的有效总荚数,风干脱粒,统计每一节位的总粒数,待种子水分含量降低到 10%时,用电子天平测量每一节位的总粒重,最后计算每一节位的总产量。种子中的蛋白质和脂肪含量采用 NIR Lab N-200 近红外谷物品质分析仪 (Switzerl and Buchi Labor technic AG)测定。将每个植株按节位分上、中、下 3 部分,3~7 节为下部,7~11 节为中部,11 节以上为上部。

1.4 数据分析

试验结果为 3 次试验的平均值,用 SPSS V 19.0 (SPSS Inc., USA, IL:Chicago)进行数据分析,使用作图软件 SigmaPlot 作图。所有图表中的数据均为 2010 和 2011 年两年的平均值。

1 材料与方法

1.1 材料

供试大豆品种为吉林省主推的 4 个栽培品种 (表 1),由吉林省农业科学院大豆种质资源室提供。

2 结果与分析

2.1 不同结荚习性大豆节位间产量的分布

从表 2 可以看出,各大豆品种节位间产量存在着明显的差异,元宝金的上部和中、下部产量存在极显著差异,中部和下部差异不显著,金元 1 号、吉农 7 号和吉林 45 的上、中、下部产量都存在极显著差异 ($P<0.01$)。从图 1 可以看出,元宝金和金元 1 号的产量主要集中在中部(7~11 节),产量从高到低依次为:中部>下部>上部,元宝金上、中、下部产量比例分别为 17.00%、46.53%、36.47%,金元 1 号上、中、下部产量比例分别为 16.82%、49.45%、33.73%。吉农 7 号和吉林 45 的产量则集中在上部(11 节以上),产量从高到低依次为:上部>中部>下部,吉农 7 号上、中、下部产量比例分别为 49.34%、36.98%、13.69%,吉林 45 上、中、下部产量比例分别 46.97%、37.28%、15.74%。

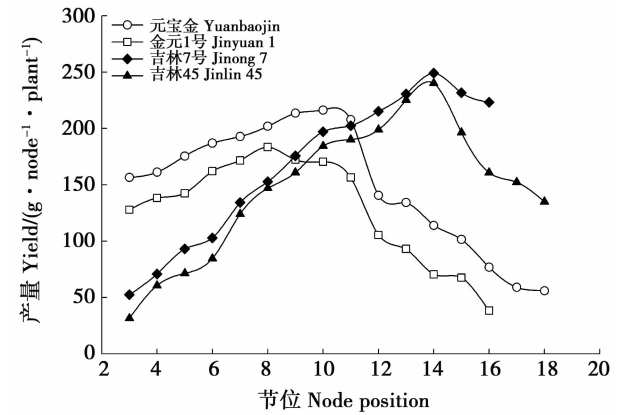


图 1 大豆不同节位产量的变化
Fig. 1 Changes of soybean yield at different nodes

表2 大豆上中下部产量的比较

Table 2 The comparison of seed yield at upper, middle and lower in soybean cultivars

品种 Cultivar	产量 Yield /g			单株产量
	上部 Upper	中部 Middle	下部 Lower	Yield per plant /g
元宝金 Yuanbaojin	4.07 bB	11.14 aA	8.73 aA	23.94 aA
金元1号 Jinyuan 1	3.70 Cc	10.88 aA	7.42 bB	22.00 bB
吉农7号 Jinong 7	11.50 aA	8.62 bB	3.19 cC	23.31 aAB
吉林45 Jilin 45	11.10 aA	8.81 bB	3.72 cC	23.63 aAB

数据均为15株的平均值;不同大写字母差异极显著($P < 0.01$),不同小写字母差异显著($P < 0.05$),下同。
The data are average of 15 plants. Different capital indicate significant difference ($P < 0.01$), different lowercase indicate significant difference ($P < 0.05$).

2.2 大豆不同节位籽粒中蛋白质含量的变化

从表3可以看出,各大豆品种节位间蛋白质含量存在着差异,元宝金和金元1号的上部蛋白质含量与中下部蛋白质含量存在极显著差异($P < 0.01$),中部跟下部差异不明显;吉农7号的中部蛋白质含量与上、下部蛋白质含量存在极显著差异,上、下部蛋白质含量差异不明显,吉林45上、中、下部蛋白质含量都存在显著差异。从图2可以看出,元宝金和金元1号的蛋白质含量均表现为随着节位的上升而增加,即上部>中部>下部;吉农7号和吉林45的蛋白质含量则表现为从下部到上部先增加后下降再增加的趋势,蛋白质含量在7~11节位最低,从高到低依次为:上部>下部>中部。

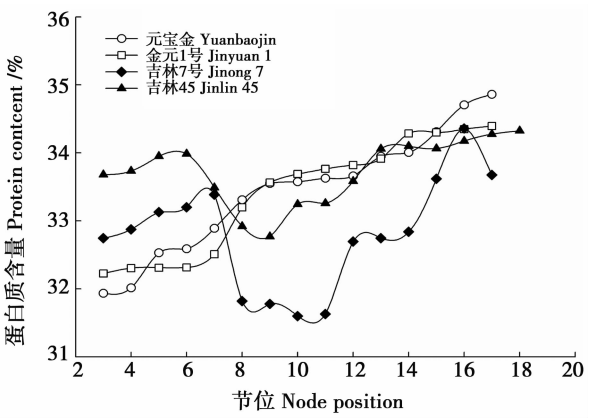


图2 大豆不同节位蛋白质含量的变化
Fig.2 Changes of protein content at different nodes

表3 大豆上、中、下部蛋白质含量的比较

Table 3 The comparision of protein content at upper,middle and lower layers of different soybean cultivars

品种 Cultivar	蛋白质含量 Protein content / %			平均值 Mean/%
	上部 Upper	中部 Middle	下部 Lower	
元宝金 Yuanbaojin	34.37 bB	33.54 aA	32.39 aA	33.43 aA
金元1号 Jinyuan 1	34.25 Bb	33.61 aA	32.33 aA	33.40 aA
吉农7号 Jinong 7	33.45 aA	31.91 bB	33.07 aA	32.81 aA
吉林45 Jilin 45	34.17 aAB	33.16 bB	33.77 aA	33.70 aA

2.3 大豆不同节位脂肪含量的变化

从表4可以看出,各大豆品种节位间脂肪含量存在着差异,元宝金上、中、下部脂肪含量存在极显著差异($P < 0.01$),金元1号上部与中、下部存在极显著差异,中、下部差异不明显;吉农7号中部与上、下部存在极显著差异,上、下部差异不显著,吉林45上部与中、下部存在极显著差异,中、下部差异不明显。从图3可以看出,元宝金和金元1号的脂肪含量均表现为随着节位的上升而降低,即上部<中部<下部;吉农7号和吉林45的脂肪含量则表现为从下部到上部先增加后下降的趋势,脂肪含量在7~11节位最高,从高到低依次为:中部>下部>上部。

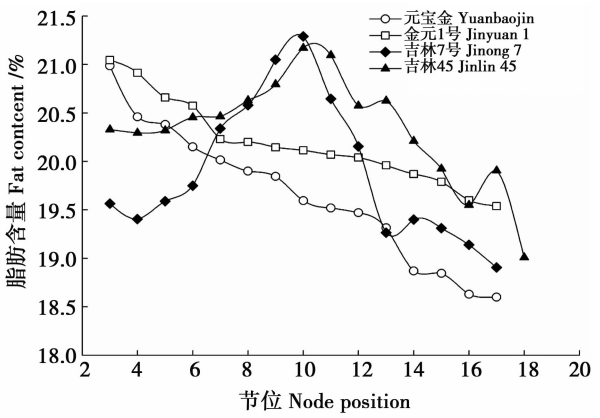


图3 大豆不同节位脂肪含量的变化
Fig.3 Changes of fat content at different nodes

表 4 大豆上、中、下部脂肪含量的比较

品种 Cultivar	脂肪含量 Fat content / %			平均值 Mean/%
	上部 Upper	中部 Middle	下部 Lower	
元宝金 Yuanbaojin	18.85 cB	19.67 bAB	20.40 aA	19.64 bB
金元 1 号 Jinyuan 1	19.75 bB	20.11 aA	20.69 aA	20.18 aA
吉农 7 号 Jinong 7	19.20 bB	20.74 aA	19.73 bB	19.89 aA
吉林 45 Jilin 45	19.87 bB	20.85 aA	20.37 aA	20.37 aA

2.4 大豆不同节位的产量与蛋白质含量的关系

相关分析表明(表 5),元宝金的产量与蛋白质含量在上部与下部呈极显著负相关,在中、下部呈极显著正相关;金元 1 号的产量与蛋白质含量在上部呈显著正相关,在中、下部呈极显著负相关;吉农

7 号的产量与蛋白质含量在上部呈显著正相关,在中、下部呈极显著正相关;吉林 45 的产量与蛋白质含量在上部呈极显著正相关,在中部呈极显著负相关,在下部呈显著正相关。

表 5 大豆不同节位的产量与蛋白质含量的相关系数

节位 Node position	元宝金 Yuanbaojin	金元 1 号 Jinyuan 1	吉农 7 号 Jinong 7	吉林 45 Jilin 45
上部 Upper	-0.99 **	0.62 *	0.65 *	0.99 **
中部 Middle	0.98 **	-0.91 **	0.93 **	-0.93 **
下部 Lower	-0.95 **	-0.98 **	0.90 **	0.65 *

** $P < 0.01$; * $P < 0.05$ 。下同。
** $P < 0.01$; * $P < 0.05$. The same below.

2.5 大豆不同节位的产量与脂肪含量的关系

相关分析表明(表 6),元宝金的产量与脂肪含量在上部呈极显著正相关,在中、下部呈极显著负相关;金元 1 号的产量与脂肪含量在上、中、下部均

呈极显著正相关;吉农 7 号的产量与脂肪含量在上部呈显著负相关,在中部呈极显著负相关,在下部呈极显著正相关;吉林 45 的产量与脂肪含量在上部呈极显著负相关,在中、下部呈显著正相关。

表 6 大豆不同节位的产量与脂肪含量的相关系数

节位 Node position	元宝金 Yuanbaojin	金元 1 号 Jinyuan 1	吉农 7 号 Jinong 7	吉林 45 Jilin 45
上部 Upper	0.98 **	0.93 **	-0.79 *	-0.96 **
中部 Middle	-0.98 **	0.90 **	-0.98 **	0.62 *
下部 Lower	-0.95 **	0.90 **	0.98 **	0.65 *

3 结论与讨论

本试验研究表明,不同结荚习性大豆节位间产量存在差异,无限结荚习性品种元宝金和金元 1 号的产量中部最高,亚有限结荚习性品种吉农 7 号和吉林 45 的产量上部最高,这与孙培乐等^[3]的研究结果一致;不同结荚习性大豆节位间蛋白质脂肪含量也存在差异,这与 Escalante 和 Wilcox^[12]的研究结果一致。本研究发现,元宝金和金元 1 号的蛋白质含量上部最高,中部次之,下部最低,而脂肪含量正好与其相反,这与 Tawaha 的结果是一致的^[13],而吉农 7 号和吉林 45 的蛋白质含量上部最高,脂肪含量中部最高,这与胡喜平等^[9]的研究是一致的。

大豆节位间籽粒产量与品质存在差异是由于

不同结荚位置的干物质调配不同。庄炳昌等^[14]认为可能是空间环境差异造成的,同一植株各部位所处的环境不同,上部光照充足,下部光照较弱,影响光合产物的形成。本试验中元宝金和金元 1 号的株型为分散型,上部茎秆细,有利于光照,所以蛋白质含量表现为上部最高。这也可能与 4 个供试大豆品种结荚习性、开花顺序、籽粒成熟顺序有关^[3,15]。元宝金和金元 1 号为无限结荚习性品种,吉农 7 号和吉林 45 为亚有限结荚习性品种;无限结荚习性品种开花顺序是下部、中部、上部,亚有限结荚习性品种开花顺序是中部、下部、上部;开花越早的部位,籽粒成熟度越高,脂肪含量就越高,蛋白质含量就越低,因此,元宝金和金元 1 号的脂肪含量下部最高,吉农 7 号和吉林 45 的脂肪含量中部最高。

优良单株的选择一般要兼顾产量与蛋白质、脂肪含量^[16]。本研究也表明,金元1号上部籽粒、吉农7号下部籽粒、吉林45下部籽粒的产量与蛋白质及脂肪含量均呈显著或极显著正相关,以往的研究认为产量与脂肪含量呈正相关,产量与蛋白质含量呈负相关,但“蛋白质含量与产量并非永远呈负相关”,在大豆育种过程中,通过诱变育种、杂交育种已育成了一批产量与蛋白质均成正相关的品种,即把高产与高蛋白性状结合起来,培育理想的优质高产品种^[17]。吴雨珊等^[18]研究发现,套作下,高产大豆的产量与蛋白质含量呈极显著正相关。成雪峰^[19]也认为,有利的气候条件也可以弥补高产大豆育种上很难提高蛋白质含量的缺陷,高产和高蛋白育种、高产和高脂肪育种在主攻方向上有相同点,选育双高大豆品种是可行的。因此,本试验发现的节位之间的产量与品质的关系可为传统育种提供方向。

参考文献

[1] James E B. Soybean cultivar differences on light interception and leaf area index during seed filling[J]. *Agronomy Journal*, 2004, 96(1): 305-310.

[2] 胡国玉,李杰坤,黄志平,等. 不同结荚习性夏大豆种质的农艺表现及其与产量的相关分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2014, 15(2): 417-422. (Hu G Y, Li J K, Huang Z P, et al. Agronomic characters and their correlations with yield in summer soybean varieties of different growth habit[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2014, 15(2): 417-422.)

[3] 孙培乐,宋兆华. 不同结荚习性大豆品种生育特性的研究[J]. *大豆科技*, 2008(5): 17-20. (Sun P L, Song Z H. The growing rules and characters of different podding propensity soybean varieties [J]. *Soybean Science and Technology*, 2008(5): 17-20.)

[4] 关晓雪,宋书宏,董丽杰,等. 不同结荚习性大豆的器官平衡与产量的关系[J]. *大豆科学*, 2009, 28(2): 221-224. (Guan X X, Song S H, Dong L J, et al. Relation between organ balance and yield in soybean of different podding habits[J]. *Soybean Science*, 2009, 28(2): 221-224.)

[5] 庄波,徐克章,杜双洋,等. 新、老大豆品种冠层产量和光合作用的比较[J]. *华南农业大学学报*, 2010, 31(1): 5-9. (Zhuang B, Xu K Z, Du S Y, et al. Comparison on yield and photosynthesis in canopy in modern and old soybean cultivars[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2010, 31(1): 5-9.)

[6] 冯引弟,徐克章,季平,等. 新老大豆品种不同节位叶片性状及其与籽粒产量的相关性研究[J]. *西北农林科技大学学报*, 2014, 42(4): 61-68. (Feng Y D, Xu K Z, Ji P, et al. Comparison of relationships between leaf traits and grain yield at each node of new and old soybean cultivars[J]. *Journal of Northwest Agricultural and Forestry University*, 2014, 42(4): 61-68.)

[7] Adam N M, McDonald M B J, Henderlong P R. The influence of

seed position, planting and harvesting dates on soybean seed quality[J]. *Seed Science and Technology*, 1989, 17(1): 143-152.

[8] Hampton J G, Kahre L, van Gastel A J G, et al. Quality seed-from production to evaluation [J]. *Seed Science and Technology*, 1996, 24(2): 393-407.

[9] 胡喜平. 大豆不同结荚部位籽粒蛋白质和脂肪含量分析[J]. *中国农学通报*, 2005, 21(1): 165-166. (Hu X P. The difference of protein and oil content of soybean seeds on different stem parts[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(1): 165-166.)

[10] 王曙明,孟祥勋,胡明祥,等. 大豆不同结荚部位籽粒蛋白质和脂肪含量差异的初步分析[J]. *大豆科学*, 1991, 10(4): 339-341. (Wang S M, Meng X X, Hu M X, et al. The difference of protein and oil content of soybean seeds on different stem parts[J]. *Soybean Science*, 1991, 10(4): 339-341.)

[11] 孙太石,杨玉环,赵爱莉,等. 播期对大豆不同节位籽粒脂肪和蛋白质含量的影响[J]. *大豆科学*, 1993, 12(1): 86. (Sun T S, Yang Y H, Zhao A L, et al. Oil and protent of soybean seeds on different podding parts to different dates of planting[J]. *Soybean Science*, 1993, 12(1): 86.)

[12] Escalante E E, Wilcox J R. Variation in seed protein among nodes of determinate and indeterminate soybean near-isolines [J]. *Crop Science*, 1993, 33(6): 1166-1168.

[13] Al-Tawaha A R M. Effect of growth stage and pod position on soybean seed isoflavone concentration [J]. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 2010, 38(1): 92-99.

[14] 庄炳昌,徐豹. 大豆不同节位种子蛋白质脂肪及其组份的分布[J]. *中国油料*, 1990(3): 42-44. (Zhuang B C, Xu B. Distribution of protein, fat and their composition in seed on different nodes of soybean plants[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 1990(3): 42-44.)

[15] 谢甫绋,王晓光,董钻. 不同结荚习性大豆生殖生长的比较研究[J]. *常德师范学院学报(自然科学版)*, 2001, 13(3): 78-83. (Xie F T, Wang X G, Dong Z. Comparison on reproductive growth of different podding habit soybeans [J]. *Journal of Changde Teachers University (Natural Science Edition)*, 2001, 13(3): 78-83.)

[16] 仲义,鄂成林,孙发明,等. 大豆农艺性状和品质性状间相关性分析[J]. *吉林农业科学*, 2012, 37(2): 1-3. (Zhong Y, E C L, Sun F M, et al. Analysis of correlation between agronomic traits and quality traits of soybean[J]. *Journal of Jilin Agricultural Sciences*, 2012, 37(2): 1-3.)

[17] 马爱萍. 不同大豆品种主要农艺性状的测定与相关分析[D]. 济南: 山东师范大学, 2010: 5. (Ma A P. Aanlysis of major agronomic traits in different soybeans cultivars[D]. Jinan: Shandong Normal University, 2010: 5.)

[18] 吴雨珊,龚万灼,谭千军,等. 套作大豆高产优质育种的灰色关联分析[J]. *大豆科学*, 2015, 34(4): 565-570. (Wu Y S, Gong W Z, Tan Q J, et al. Grey correlation degree analysis of high yield and high quality breeding of soybean in relay strip intercropping[J]. *Soybean Science*, 2015, 34(4): 565-570.)

[19] 成雪峰. 黄淮海大豆高产优质育种的灰色关联分析[J]. *大豆科学*, 2010, 29(5): 751-755. (Cheng X F. Grey correlation analysis on agronomic traits of high yield and quantity soybean in Huang-Huai-Hai region [J]. *Soybean Science*, 2010, 29(5): 751-755.)

渍水对黑龙江不同年代育成大豆品种特性的影响

郑伟^{1,2}, 西天一³, 郭泰¹, 王志新¹, 李灿东¹, 张振宇¹, 刘婧琦¹, 刘忠堂¹

(1. 黑龙江省农业科学院 佳木斯分院, 黑龙江 佳木斯 154007; 2. 黑龙江省农科院博士后工作站, 黑龙江 哈尔滨 150086; 3. 东北农业大学农学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要:为了明确黑龙江省不同年代育成大豆品种抗涝能力的遗传改良趋势,选用黑龙江省 1985 – 2010 年育成的 5 个代表性主栽大豆品种为试材,采用盆栽试验模拟田间渍水灾害,分别在盛花期设置渍水 7 和 14 d 处理,以常规水分处理为对照,研究渍水对大豆植株形态、根系活力、生理指标及粒重的影响。结果表明:株高、单株叶面积、根体积、根表面积、根干重降低百分率以及冠根比增加百分率在渍水 7 和 14 d 条件下均呈先降低后升高的变化趋势;根系活力降低百分率呈现先降低后升高的变化趋势;叶色值和净光合速率降低百分率呈先降低后升高的趋势;丙二醛(MDA)增加百分率呈先降低后升高的趋势,过氧化物酶(POD)活性和可溶性糖(SS)含量呈相反的变化趋势;单株粒重降低百分率呈先降低后升高的趋势;以上各性状变化百分率与品种育成年代相关均达到显著或极显著水平。从不同年代育成品种植株形态、光合生理、根系活力、叶片部分生理指标变化规律可以看出,黑龙江省不同年代育成大豆品种抗涝能力呈先升高后降低的趋势。

关键词:大豆;不同年代;抗涝能力;遗传改良

中图分类号:S565. 1 **文献标识码:**A **DOI:**10. 11861/j. issn. 1000-9841. 2016. 06. 0937

Effect of Waterlogging on Characteristics of Soybean Cultivars Released in Different Years in Heilongjiang Province

ZHENG Wei^{1,2}, XI Tian-yi³, GUO Tai¹, WANG Zhi-xin¹, LI Can-dong¹, ZHANG Zhen-yu¹, LIU Jing-qi¹, LIU Zhong-tang¹

(1. Jiamusi Branch Academy of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences Jiamusi 154007; 2. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences Post-doctoral Workstations, Harbin 150086, China; 3. Agronomy College, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: In order to clear the genetic improvement tendency of anti-water-logging capacity of different years soybean varieties in Heilongjiang Province, five representative major soybean cultivars bred in Heilongjiang Province from 1985 to 2010 were used as test materials. The waterlogging treatment had been done in full-blossom period for 7 and 14 days respectively in order to study the effect of plant morphology, root activity, physical signs and grain weight in pot experiment. The contrast was common water treatment. The results showed that the decrease percentage of plant height, plant leaf area, root volume, root superficial area, root dry weight and the increase percentage of root/shoot ratio decreased firstly and then increased under waterlogging treatment 7 and 14 days. The decrease percentage of root activity decreased firstly and then increased. The decrease percentage of leaf color and net photosynthetic rate decreased firstly and then increased. The increase percentage of malondialdehyde (MDA) also decreased firstly and then increased. The peroxidase (POD) and soluble sugar (SS) showed a opposite trend. The decrease percentage of plant grain weight decreased firstly and then increased. Change percentage of all above characters had reached a significant level or extremely significant level between different breed years. The change rule of plant morphology, photosynthetic physiology, root activity and the leaf physical signs indicated that the anti-water-logging capacity of different breed years soybean cultivars increased firstly and then decreased.

Keywords: Soybean; Different years; Anti-water-logging capacity; Genetic improvement

渍水是低湿地区大豆生产中常见的灾害现象,渍水胁迫抑制大豆植株生长、扰乱大豆正常生理功能,使大豆产量和品质受到严重影响^[1-4]。对冠层的影响表现为株高降低^[5-7]、叶面积指数减小^[8];根系发育受阻,根干重和根体积降低,冠根比增加^[9-12];对光合生理指标的影响表现为叶色值和净光合速率降低^[13-15];同时丙二醛含量会增加,渗透调节物质和保护酶活性均会发生变化^[13,16-17]。黑龙江省是我国大豆主产区,大豆生产主要中在东部三江平原地区,该地区地势低湿,降水时空分布不均,阶段性涝害时有发生,给该地区大豆生产带来了严重的影响,尤其是每年伏天雨季到来时,大部分地

收稿日期:2015-05-18
基金项目:黑龙江省科技创新工程(2014ZD009);国家现代农业产业技术体系(CARS-04-CES05)。
第一作者简介:郑伟(1976-),男,博士,副研究员,主要从事大豆遗传育种与栽培研究工作。E-mail:zhw105122@126.com。
通讯作者:郭泰(1963-),男,研究员,主要从事大豆遗传育种与栽培研究工作。E-mail:guotaidadou@163.com。

块容易发生内涝,形成渍水灾害。以往研究表明,大豆不同基因型之间对渍水胁迫的耐受能力存在差异,这主要是由遗传基础决定的^[18],通过选用耐涝品种可以有效降低涝害给低洼易涝地区带来的损失^[19],因此,在黑龙江省东部地区应该选择抗涝能力强的大豆品种来满足生产需求。本研究选用黑龙江省不同年代育成大豆品种为试材,研究其抗涝能力遗传改良规律,试验结论对提高低湿地区大豆抗涝育种和栽培技术水平具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料

将1985-2010年平均分成5个时间段,选择每个时间段内育成的大豆主栽品种为试材,所选品种分别为合丰25(1985s)、合丰35(1990s)、绥农14(1995s)、合丰39(2000s)、垦丰16(2005s),所选品种生育日数均为120 d,亚有限结荚习性。

1.2 试验设计

试验于2013-2015年在国家大豆区域创新中心佳木斯分中心进行。供试土壤为黑钙土,取自田间0~20 cm耕层,有机质含量1 235 mg·kg⁻¹,全氮28.6 mg·kg⁻¹,碱解氮2.2 mg·kg⁻¹,速效磷11.8 mg·kg⁻¹,速效钾40.6 mg·kg⁻¹,搅拌均匀风干备用。采用盆栽试验,盆规格为上口直径30 cm,下口直径25 cm,高40 cm,每盆装风干土14.0 kg。渍水方式以水面到达大豆子叶节处为准,采用裂区设计,以品种为主区,水分处理为副区,设置渍水7、14 d和常规水分管理(CK)3个处理水平。试验于5月15日播种,每个品种播种48盆,每盆定苗3株,于盛花期进行水分处理,每个品种处理24盆,12盆用于取样分析,12盆恢复正常水分管理,成熟时测产。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 株高 利用直尺测定试验品种株高,每个处理测定3盆,每盆测定3株,取平均值。

1.3.2 根表面积和根体积 将根系沿子叶节处剪断,利用根系扫描分析系统(WinRHIZO)测定根体积和根表面积。

1.3.3 根干重和冠根比 利用烘干法,测定冠部干重和根系干重,冠根比=冠部干重/根系干重。

1.3.4 单株叶面积 将取样后的大豆植株叶片全部摘下,铺在透明塑料板上压平,然后利用MSD-971叶面积分析仪,扫描全株叶面积。

1.3.5 叶色值 每次渍水胁迫结束后取样之前,利用活体叶绿素测定仪(SPAD502)测定主茎倒3叶中间小叶的叶色值,每盆测量3株取平均值。

1.3.6 光合速率 渍水处理后,利用Li-cor6400光合测定系统测定主茎倒3叶中间小叶片的净光合速率,测定条件:流速500 μmol·s⁻¹,红蓝光源光量子通量处理(PFD)为1 000 μmol·m⁻²·s⁻¹。

1.3.7 生理指标 丙二醛的测定采用硫代巴比妥酸法;过氧化物酶测定采用愈创木酚法;可溶性糖含量测定采用苯酚法测定;根系活力测定采用TTC法;以上生理指标的测定均参考李合生^[20]的方法。将试验材料取下,迅速放在液氮中,带回实验室放在-80℃超低温冰箱中保存,然后在实验室内进行测定。

1.3.8 单株粒重 试验材料成熟后脱粒,风干7 d后测定单株产量。

1.4 数据分析

利用Excel 2000软件对数据进行统计分析和作图。

2 结果与分析

2.1 渍水对大豆植株形态的影响

对不同渍水处理条件下参试品种株高、单株叶面积、根体积、根表面积、根干重、冠根比进行分析,结果表明品种间和处理间以上性状差异均达到显著或极显著水平,说明不同年代育成品种植株形态指标对渍水胁迫反应存在差异。胁迫使参试品种株高、单株叶面积、根体积、根表面积、根干重均呈降低趋势,而冠根比呈增加趋势,但不同品种之间存在差异。参试品种在渍水7和14 d条件下,合丰25(1985s)、合丰35(1990s)、绥农14(1995s)、合丰39(2000s)和垦丰16(2005s)株高分别降低9.93%和16.57%、6.80%和13.78%、5.49%和7.93%、8.70%和14.02%、9.63%和17.48%;单株叶面积分别下降12.17%和25.08%、9.12%和20.96%、5.76%和11.38%、9.37%和20.13%、13.53%和25.12%;根体积降低16.94%和26.05%、10.56%和18.10%、7.23%和14.34%、11.09%和13.65%、16.26%和23.87%;根表面积降低14.53%和28.37%、9.80%和25.19%、5.85%和15.65%、9.79%和27.38%、14.92%和33.06%;根干重降低10.19%和21.27%、7.30%和16.10%、4.07%和10.81%、6.54%和16.55%、11.53%和22.81%;冠根比增加9.90%和15.61%、7.38%和12.35%、3.39%和8.59%、5.51%和11.21%、9.80%和15.63%,其中1990s、1995s、2000s根表面积、1995s根干重渍水7 d与对照差异不显著,其它处理与对照差异均达到显著或极显著;1985s和

2005s 除冠根比与对照差异为极显著外,其它年代品种冠根比与对照差异均为不显著和极显著。对不同年代育成品种渍水处理后株高、单株叶面积、根体积、根表面积、根干重、根冠比变化百分率与品

种育成年代之间进行了多元线性回归分(图1),结果表明,渍水7和14 d条件下,以上性状变化百分率与品种育成年代相关均达到显著或极显著水平。

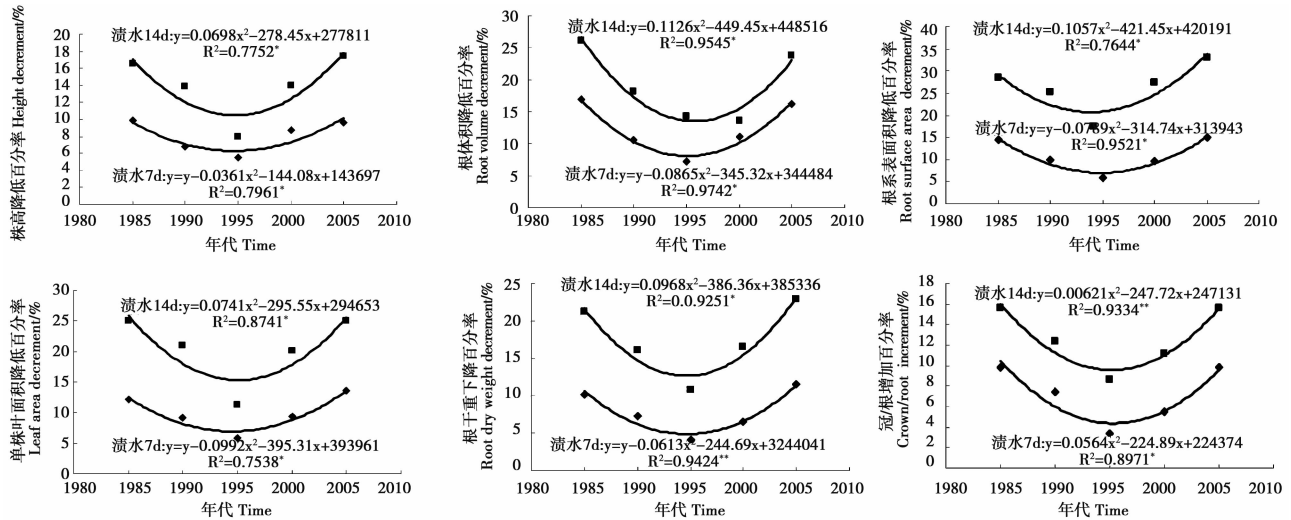


图1 不同渍水处理条件下不同年代育成品种形态性状与品种育成年代相关性

Fig.1 The correlation between morphological character and variety breed years under different waterlogging days

2.2 渍水对根系活力的影响

对渍水处理条件下参试品种根系活力进行方差分析,结果表明,品种间和处理间根系活力差异均达到极显著水平,说明不同年代育成品种根系活力对渍水胁迫反应存在差异。随着渍水时间的延长,不同年代育成品种根系活力均呈降低趋势,但不同品种之间存在差异。1985s-2005s 育成品种在渍水7和14 d条件下,根系活力分别降低22.96%和30.63%、14.44%和21.70%、8.78%和15.32%、15.08%和21.45%、22.84%和30.58%,与对照差异均达到显著或极显著水平。对根系活力降低百分率与品种育成年代之间进行了多元线性回归分析(图2),结果表明,渍水7和14 d条件下,根系活力降低百分率与品种育成年代相关达到极显著水平。

2.3 渍水对光合生理指标的影响

开花期对不同渍水处理条件下参试品种叶色值和净光合速率进行了方差分析,结果表明,品种间和处理间叶色值和净光合速率差异均达到极显著水平。参试品种在渍水7和14 d条件下,叶色值分别降低18.46%和21.51%、12.76%和16.3%、16.60%和17.7%、12.45%和16.60%、29.91%和25.61%;净光合速率分别下降21.75%和32.64%、21.75%和33.25%、19.24%和23.06%、23.46%和29.66%、31.70%和38.62%,叶色值降低和净光合速率下降百分率与对照差异均达到极显著水平。对不同年代育成品种渍水处理后,叶色值和净光合

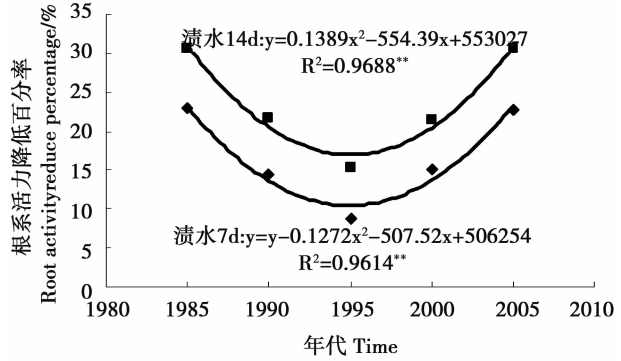


图2 不同渍水条件下根系活力降低百分率与品种育成年代的相关性

Fig.2 The correlation between decrement of root activity and variety breed years under different waterlogging days decrement

速率下降百分率与品种育成年代之间进行了多元线性回归分析(图3),结果表明,渍水7和14 d条件下,以上性状降低百分率与品种育成年代相关均达到显著或极显著水平。

2.4 渍水对叶片部分生理指标的影响

对渍水条件下不同年代育成品种叶片丙二醛(MDA)、可溶性糖(SS)含量和过氧化物酶(POD)活性进行了方差分析,结果表明,不同年代育成品种间和不同渍水处理间叶片MDA、POD和SS差异均达到极显著水平。渍水处理后,不同年代育成品种叶片MDA、POD和SS均呈上升趋势,但不同品种之间存在差异。参试品种在渍水7和14 d条件下,MDA含量分别增加43.73%和67.18%、36.90%和

44.39%、26.05%和34.37%、33.31%和38.40%、53.32%和68.65%；POD活性分别增加13.49%和24.20%、29.08%和35.85%、41.73%和60.38%、34.61%和53.26%、14.49%和23.18%；可溶性糖含量分别增加9.68%和15.06%、19.83%和21.33%、28.07%和30.23%、19.18%和20.62%、6.08%和13.23%，除1990 s 渍水7 d 条件下SS与

对照差异不显著外，其它年代品种各性状与对照差异均达到显著和极显著。对不同年代育成品种渍水处理后，叶片MDA、POD和SS增加百分率与品种育成年代之间进行了多元线性回归分析(图4)，结果表明，渍水7 d 条件下，以上性状增加百分率与品种育成年代相关均达到极显著水平；渍水14 d 条件下，均达到显著水平。

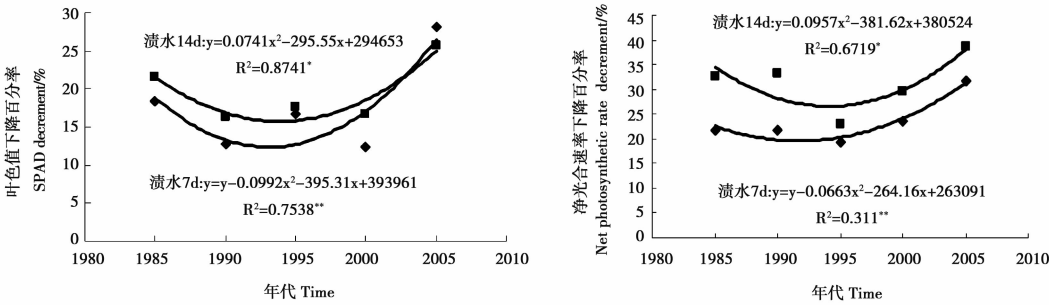


图3 不同渍水条件下大豆光合指标下降百分率与品种育成年代的相关性
Fig. 3 The correlation between decrement of photosynthetic indexes and variety breed yeras under different waterlogging days

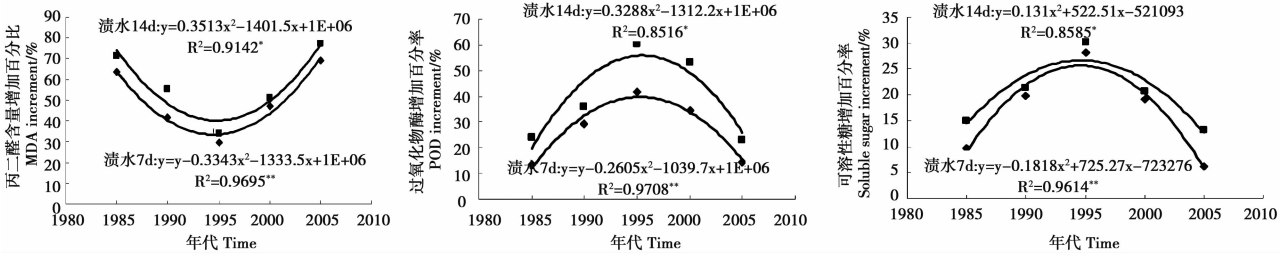


图4 不同渍水处理条件下叶片部分生理指标变化百分率与品种育成年代相关性
Fig. 4 The correlation between change percentage of leaf physical signs and variety breed years under different waterlogging days

2.5 渍水对株粒重的影响

对渍水处理条件下不同年代育成品种单株粒重进行方差分析,结果表明,品种间和处理间单株粒重差异均达到极显著水平。不同年代育成品种单株粒重呈降低趋势,但不同品种之间存在差异。1985s - 2005s 育成品种在渍水7和14 d 条件下,单株粒重分别降低18.33%和26.16%,与对照差异为不显著和显著;1990s 育成品种分别下降14.80%和23.30%,与对照差异均没有达到显著水平;1995s 育成品种分别降低11.40%和19.50%,与对照差异为不显著和显著;2000s 育成品种15.10%和24.10%,与对照差异均不显著;2005s 育成品种分别降低20.50%和30.02%,与对照分别达到显著和极显著水平。对不同年代育成大豆品种渍水处理后,单株粒重下降百分率与品种育成年代之间进行了多元线性回归分析(图5),结果表明,单株粒重降低百分率与品种育成年代相关均达到了极显著

水平。

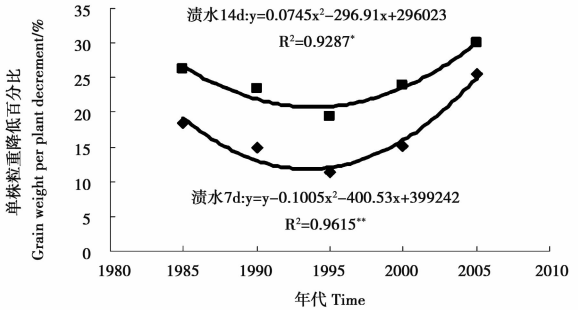


图5 不同渍水条件下大豆单株粒重下降百分率与品种育成年代的相关性
Fig. 5 The correlation between decrement of plant grain weight and variety breed years under different waterlogging days

3 讨论

渍水胁迫对大豆的影响首先在植株形态变化

上表现出来。周琴等^[21]、东先旺^[22]、韩亮亮等^[1]研究表明,长期渍水抑制了大豆的生长,叶面积和植株的生物量显著低于对照处理,耐涝品种变化相对稳定,本研究对不同年代育成品种株高、叶面积、根系表面积、根干重、冠根比等性状进行了分析,结果表明不同年代育成品种以上指标的变化呈先降低后升高的趋势,即中期品种抗涝能力强,早期和近期品种抗涝能力相对弱。田一丹等^[13]分析了渍水对大豆光合生理的影响,结果表明,植株叶片在受到渍水胁迫后光合速率呈现低-高-低的单峰曲线。周琴等^[21]研究结果表明,长期渍水条件下,大豆叶片色素含量下降同时光合速率也呈现显著下降趋势。韩亮亮等^[1]研究认为,短期渍水处理下净光合速率与对照差异不显著,随着渍水时间的延长下降趋势达到显著,渍水时间继续延长,则净光合速率表现为与对照接近,说明大豆自身对水分胁迫有一个适应的过程,抗涝品种适应的快些。本研究中不同年代品种叶色值和净光合速率变化呈现高低高的变化趋势,且与育成年代相关性达到显著,说明品种的抗涝能力呈现低-高-低的变化趋势。涝害发生后大豆植株本身会发生一系列的生理反应来适应这种胁迫。周琴等^[21]、韩亮亮等^[1]等研究认为,渍水后大豆叶片丙二醛(MDA)含量呈增加趋势,并且随着时间的延长增加幅度增大;田一丹等^[13]和宋晓慧等^[23]认为渍水后叶片中过氧化物酶和可溶性糖(SS)含量总体上呈现逐渐升高的趋势,本研究结果表明不同年代育成品种 POD 活性和 SS 含量均呈现先生高后降低趋势,而 MDA 含量和根系活力呈相反趋势,且与育成年代相关性达到显著或极显著,说明不同年代品种抗涝能力呈低-高-低的变化趋势。Vantoai 等^[17]研究发现,在盛花期淹水 28 d 大豆平均产量较对照减少 25% 左右, Galme 等^[15]研究结果表明,涝害胁迫使最耐涝品种的产量减少 39%,最敏感品种的产量减少了 77%,主要是由遗传因素决定的。本研究中不同年代品种在渍水胁迫条件下,单株粒重降低百分率表现先降低后升高的趋势,说明抗涝能力呈现先升高后降低的变化趋势。

随着品种的遗传改良,大豆形态逐渐向着有利于产量提高的方向发展,而品种本身的抗逆性在降低,大豆抗涝性也是如此^[24-26]。大豆不同基因型之间耐涝性存在差异,主要是由大豆遗传因素所决定的,大豆耐涝性本身具有遗传多样性^[27],同时作物耐涝性与人工定向选择密切相关^[28-29]。Voldeng 等^[3]研究认为,美国大豆新品种产量虽然较老品种

有较大幅度的提高,但是品种本身的抗涝能力并没有提高。本研究对黑龙江省近期育成大豆品种抗涝能力遗传改良趋势进行研究认为,黑龙江省 1985 年以来育成大豆品种抗涝能力变化趋势与抗旱能力呈现相反的趋势,即先升高后降低的单峰曲线,与 Voldeng 等^[3]的研究结论存在差异。这主要是由于不同生态条件下的定向选择而产生的差异,80 年代以前的育种目标是选育抗涝能力强的品种,因而前期育成品种的抗涝能力逐渐增强,而后期育种目标转换为选育抗旱能力强的品种,所以近期育成品种的抗涝能力在下降。

4 结 论

本研究对黑龙江省近期育成大豆品种抗涝能力遗传改良趋势进行研究,结果表明黑龙江省 1985 年以来育成大豆品种抗涝能力变化趋势为先升高后降低的单峰曲线,这主要是由于不同生态条件下的定向选择而产生的差异。

参考文献

[1] 韩亮亮,周琴,陈卫平,等. 淹水对大豆生长和产量的影响[J]. 大豆科学,2011,30(4):589-595. (Han L L, Zhou Q, Chen W P, et al. Effects of flooding on growth and yield of soybean[J]. Soybean Science, 2011,30(4):589-595.)

[2] 董钻. 大豆产量生理[M]. 北京: 中国农业出版社,2000: 46-49. (Dong Z. Soybean yield physiology[M]. Beijing: China Agricultural Press,2000: 46-49.)

[3] Voldeng H D, Cober E R, Hume D J, et al. Fifty-eight years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada [J]. Crop Science, 1997,37:428-431.

[4] Luedders V D. Genetic improvement in yield of soybeans[J]. Crop Science, 1977,17: 971-972.)

[5] 倪君蒂,李振国. 淹水对大豆生长的影响[J]. 大豆科学,2000,19(1):42-48. (Ni J D, Li Z G. Effects of flooding on growth of soybean seedlings[J]. Soybean Science, 2011,19(1):42-48.)

[6] 褚丽丽,张忠学. 氮素营养与水分胁迫对大豆产量补偿效应的影响[J]. 生态学报,2013,30(10):2665-2670. (Chu L L, Zhang Z X. Effects of nitrogen nutrition and water stress on compensation effect of the yield of soybean[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013,30(10):2665-2670.)

[7] 王彩洁,李伟,张礼凤,等. 黄淮海地区主栽大豆品种耐涝性比较研究[J]. 山东农业科学,2016,48(5):23-27 (Wang C J, Li W, Zhang L F, et al. Comparative studies on waterlogging tolerance of major soybean cultivars in Huanghuaihai valley region[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2016,48(5):23-27.)

[8] 朱建国,张文英,欧光华,等. 夏大豆花荚期受渍胁迫对农艺性状、产量与品质的影响[J]. 大豆科学,2001,20(1): 71-73. (Zhu J G, Chang W Y, Ou G H, et al. Influence upon agronomic properties, yield and qualities of summer soybean in period of soy-

- bean with flowers and pods under subsurface waterlogging of soybean field[J]. Soybean Science, 2001, 20(1): 71-73.)
- [9] 赵恩龙, 葛慧玲, 龚振平, 等. 灌溉水平对春大豆株高及产量的影响[J]. 作物杂志, 2014(1): 126-128. (Zhao E L, Ge H L, Gong Z P, et al. Effect of levels of irrigation on plant height and yield in spring soybean[J]. Crops, 2014(1): 126-128.)
- [10] 李丽君, 于晓芳, 李强, 等. 不同生育时期灌水对大豆根系性状及产量的影响[J]. 大豆科学, 2013, 32(1): 133-135. (Li L J, Yu X F, Li Q, et al. Effect of irrigation at different growth stages on root characters and yield of soybean[J]. Soybean Science, 2013, 32(1): 133-135.)
- [11] 宋丰萍, 胡立勇, 周广生, 等. 渍水时间对油菜生长及产量的影响[J]. 作物学报, 2010, 36(1): 170-176. (Song F P, Hu L Y, Zhou G S, et al. Effects of waterlogging time on rapeseed (*Brassica napus* L.) growth and yield[J]. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(1): 170-176.)
- [12] 宋晓慧, 滕占林, 萧长亮, 等. 淹水胁迫对不同耐涝性大豆品种苗期根部形态及叶部生理指标的影响[J]. 大豆科学, 2013, 32(1): 130-132. (Song X H, Teng Z L, Xiao C L, et al. Effect of waterlogging on root morphology and foliar physiological indexes of soybean varieties[J]. Soybean Science, 2013, 32(1): 130-132.)
- [13] 周琴, 董艳, 卞雅姣, 等. 不同渍水时间对苗期和花期大豆生长及碳氮代谢的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(6): 1577-1584. (Zhou Q, Dong Y, Bian Y J, et al. Influence of different duration of waterlogging on the growth and C and N metabolism of soybean at seedling and flowering stages[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(6): 1577-1584.)
- [14] 王芳, 赵团结, 盖钧镒. 大豆野生与栽培资源苗期耐淹性的鉴定、生态区特征和优异种质发掘[J]. 大豆科学, 2007, 26(6): 828-834. (Wang F, Zhao T J, Gai J Y. Evaluation, eco-region characterization and elite germplasm identification of submergence tolerance at seedling stage wild and cultivated soybeans[J]. Soybean Science, 2007, 26(6): 828-834.)
- [15] Galme J, Medrano H, Flexas J. Photosynthetic limitations in response to water stress and recovery in Mediterranean liants with different growth forms[J]. New Phytologist, 2007, 175(1): 81-93.
- [16] Githiri S M, Watanabe S, Harada K, et al. QTL analysis of flooding tolerance in soybean at an early vegetative growth stage[J]. Plant Breeding, 2006, 125(6): 613-618.
- [17] Vantoai T T, Martin S K, Chase K, et al. Identification of a QTL associated with tolerance of soybean to soil waterlogging[J]. Crop Science, 2001, 41(4): 1247-1252.
- [18] 孙慧敏, 赵团结, 盖钧镒. 大豆苗期耐淹性的遗传与 QTL 分析[J]. 作物学报, 2010, 36(4): 590-595. (Sun H M, Zhao T J, Gai J Y. Inheritance and QTL mapping of waterlogging tolerance at seedling stage of soybean[J]. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(4): 590-595.)
- [19] 王芳, 赵团结, 盖钧镒. 大豆野生与栽培资源苗期耐淹性的鉴定、生态区特征和优异种质发掘[J]. 大豆科学, 2007, 26(6): 828-834. (Wang F, Zhao T J, Gai J Y. Evaluation, eco-region characterization and elite germplasm identification of submergence tolerance at seedling stage wild and cultivated soybeans[J]. Soybean Science, 2007, 26(6): 828-834.)
- [20] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 134-137. (Li H S. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 134-137.)
- [21] 周琴, 董艳, 卞雅姣, 等. 不同渍水时间对苗期和花期大豆生长及碳氮代谢的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(6): 1577-1584. (Zhou Q, Dong Y, Bian Y J, et al. Influence of different duration of waterlogging on the growth and C and N metabolism of soybean at seedling and flowering stages[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(6): 1577-1584.)
- [22] 东先旺. 大豆苗期耐涝性研究初报[J]. 莱阳农学院学报, 1988, 5(2): 71-74. (Dong X W. Preliminary of research of waterlogging resistance of soybean at seedling stage[J]. Journal of Laiyang Agricultural College, 1988, 5(2): 71-74.)
- [23] 宋晓慧, 张智杰, 李春光, 等. 淹水时间对不同耐涝性大豆品种苗期根部形态和叶部生理指标的影响[J]. 大豆科学, 2014, 33(1): 70-72. (Song X H, Zhang Z J, Li C G, et al. Effect of waterlogging time on root morphology and foliar physiological indexes of soybean varieties[J]. Soybean Science, 2014, 33(1): 70-72.)
- [24] Frederick J R, Woolley J T, Hesketh J D, et al. Seed yield and agronomic traits of old and modern soybean cultivars under irrigation and soil water-deficit[J]. Field Crops Research, 1991, 27: 71-82.
- [25] 马启林, 雷慰慈, 山口武视, 等. 过湿条件下大豆不定根的发生及其生理作用研究[J]. 大豆科学, 2008, 27(1): 79-84. (Ma Q L, Lei W C, Takeshi Y, et al. Incidence and physiological effects of soybean adventitious root under excessive soil water[J]. Soybean Science, 2008, 27(1): 79-84.)
- [26] 韩亮亮. 淹水胁迫对大豆生长和生理特性的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2011: 47. (Han L L. Effects of flooding stress on growth and physiological characteristics of soybean[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011: 47.)
- [27] Vantoai T T, Martin S K, Chase K, et al. Identification of a QTL associated with tolerance of soybean to soil waterlogging[J]. Crop Science, 2001, 41(4): 1247-1252.
- [28] Scott H D, Deangulo J, Daniels M B, et al. Flood duration effects on soybean growth and yield[J]. Agronomy Journal, 1989, 81(4): 631-636.
- [29] 李阳生, 李绍清. 淹涝胁迫对水稻生育后期的生理特性和产量性状的影响[J]. 武汉植物学研究, 2000, 18(2): 117-122. (Li Y S, Li S Q. Effect of submergence on physiological indexes and yield component at reproductive stage in rice[J]. Journal of Wuhan Botanical Research, 2000, 18(2): 117-122.)